Technical Note

Public Works Canada Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 21: March, 1984

Maintenance of Solar Hot Water Systems

1. SYNOPSIS

Our experience shows that proper maintenance is essential to the durability and performance of solar systems. Regular inspection of system components twice a year can alleviate or even eliminate operational problems which, if left unattended, could lead to serious, costly repairs.

2. INTRODUCTION

Like all mechanical systems, solar energy systems are subject to wear and tear. They have all the maintenance requirements of conventional HVAC equipment and, in addition, pose special problems of their own. For instance, solar systems are exposed to extreme physical conditions, and components are relatively expensive to repair and replace. As well, there is the problem of detecting system failure. Since the backup system ensures the supply of hot water, the operator may not know when malfunctions occur unless he is in the habit of conducting regular inspections.

Many homeowners do not realize their solar systems require upkeep, or do not know how to provide it. Similarly, operators of commercial projects may not be well briefed in system management. So while some problems may be caused by design oversights or improper installation, it is increasingly evident that others are the result of a lack of operator knowledge.

If the system operator can detect problems and act on them when they are more easily corrected, the lifespan and efficiency of the solar investment can be protected.

3. NOTES ON MAINTAINING SOLAR HOT WATER SYSTEMS

Solar system components should be located to assure safe, easy access to collectors, pumps, storage tanks and the control system. To make maintenance and trouble-shooting faster and safer, post a chart near the system listing the appropriate safe pressures, fill levels, flow directions, and other information for crucial valves and components.

Keep a log of maintenance performed on the system. If a malfunction occurs in the system, carry out repairs as soon as possible to prevent damage to other components. Glycol pressure loss can cause pumps to overheat; controller or sensor malfunction can cause panels to freeze in winter or overheat in summer; overheated panels can expose sensors to excessively high temperatures.

As the operator of a residential or a commercial/industrial system, ensure you are instructed in proper start up, routine maintenance, and shut down (including emergency) procedures. To facilitate repairs and reduce down time in commercial systems, operators should keep on hand an adequate supply of critical and hard-to-get parts (e.g. pumps, controllers, sensors and propylene glycol antifreeze).

The most common problems in poorly maintained solar systems are:

- leaks in the interconnections between collectors
- condensation in the collector
- loss of thermal fluid in closed-loop systems
- failure of controls and protection equipment
- freezing of system components
- roof leaks at pipe penetrations.

To help reduce these and other problems visual inspections of system components should be conducted twice a year, once in early spring and once in late fall.

3.1 Solar Collectors

a. Cover Plates

Clean the collector's outer glazing once a year or when necessary. This should be done when the collector is not too hot -- early in the morning or on a cloudy day. Follow the manufacturer's cleaning instructions and use only approved washing solutions.

Inspect collector sensors to ensure they are in good thermal contact. Once a year, calibrate sensors in accordance with the manufacturer's specifications.

Check that glazing edges are properly sealed. While a certain amount of condensation is normal, for instance at night when the collector surface cools, excessive condensation under the cover plate may indicate failure of the sealant or blockage of the collector's weep holes.

Compare the temperatures of the collector covers by hand. A hot surface can indicate collector stagnation due to either leakage of thermal fluid (in the case of heat pipe collectors), or excessive loss of pressure in the centre collectors of a solar array (in the case of improperly designed systems). Thermal stress can cause cracking of cover plates.

b. Absorber Plates

Corrosion can occur when an aluminum absorber plate is connected to piping made of a different metal, such as copper. Look through the cover panel to check the absorber plate for pinhole leaks, discolouration, and flaking, etc.

c. Collector Piping

Check all internal piping joints, inlet and outlet pipes, and temperature sensor attachments for signs of corrosion.

d. External Pipe Insulation

Inspect external pipe insulation for signs of ultraviolet degradation. Squeeze insulation to check for wetness; wet insulation feels soft and may give off a soggy sound or bleed water. Damaged insulation can result in increased heat losses.

e. Mounting

In the case of roof-mounted collectors check the flashing and sealing of roof penetrations. If the rear of the collector is accessible, check for signs of overheating and charring of the insulation and the roof material behind the absorber plate.

3.2 Storage Tanks

Inspect the insulation around the tank for wetness and other signs of deterioration, and check the base of the tank for leakage. Examine the temperature sensor attachment and piping joints for evidence of corrosion. If the tank can be opened, check the interior lining for corrosion and scaling, etc., and look for any leakage in the heat exchanger coil.

Check that the temperature sensor is making good thermal contact and is in the proper location. In several installations monitored by Public Works Canada - National Capital Region, sensors were moved from the cold water pipe at the tank entrance to the side of the tank to correct excessive cycling.

Drain and flush tanks once a year. For drainback systems check the drainback time once a year; the system should drain back within ten minutes.

3.3 Heat Exchanger

Heat exchangers should be installed with an isolation valve on each side for easy maintenance. Read the pressure drop across the unit; open the head and inspect for leakage, corrosion and scale build-up; and clean the heat exchanger once a year using a product recommended by the manufacturer.

3.4 Pumps

Check pump for excessive noise or vibration, proper mounting and lubrication. Some circulator pumps are sealed and permanently lubricated, others are lubricated by the heat transfer fluid, and still others require periodic lubrication. Check the manufacturer's literature for recommended lubrication schedules.

3.5 Valves, Air Vents, and Expansion Tanks

Inspect valves, air vents and expansion tanks for clogging and leakage. Verify that shut off valves turn smoothly in both directions and check all settings.

Lines containing filters or strainers should be taken apart once a year to clean the screens. Check floats and seals; dirt causes vents to sputter. Check caps to ensure they are loose enough to allow air out of the system (screw cap finger tight, then loosen one to two turns).

The pressure relief valve should be set 35 kPa (5 psi) below the maximum working pressure of the most pressure sensitive component of the system.

Check the expansion tank diaphragm for leakage by measuring air pressure. Check tank water level and adjust accordingly.

3.6 Piping

Check joints for leakage and inspect the pitch, supports and insulation for deterioration. Systems using silicone or similar fluids are particularly susceptible to leaks. All joints in the piping, pumps and heat exchangers, etc., and all gaskets and seals should be checked for leakage twice a year.

3.7 Heat Transfer Fluid

a. Liquid Level in the Collector Loop

View the collector loop fluid through a transparent sight-glass to detect loss of liquid and the presence of sediment and air bubbles.

Measure fluid pressure - a significant drop in static pressure probably indicates loss of fluid. In some drainback systems, low fluid levels can cause damage to the pump.

b. pH

Monthly testing of the pH level of the heat transfer fluid is important in preventing corrosion in water and glycol systems (see Technical Note No. 6).

For open-loop water systems the pH should be between 7 and 8. Under pH 7, add corrosion inhibitors; over pH 8, there is a tendency for scaling. In addition, test for concentrations of iron, zinc, copper, and other metals which are prone to corrosion.

For closed-loop glycol systems, check the fluid immediately after it has been subjected to stagnation conditions. Glycol solutions are particularly susceptible to acid degradation following a period of stagnation or overheating. If the pH drops below 7 add inhibitor to bring the pH up to 7.5. Also test for large concentrations of suspended solids.

c. Flow Rate

The flow rate in the system should be balanced when the system is installed and, thereafter, checked at least once a year by performing temperature measurements across each array on a sunny day. An unusually large temperature differential can indicate clogging of pipes and components, defective operation of pumps and/or valves, or entrapped air.

d. Sediment Formation

A certain amount of sediment formation in any liquid-based system is normal, but to ensure system performance, major components should be cleaned periodically. The presence of rust in the sediment may be due to corrosion of iron components; calcium deposits may indicate the need for treating the supply water.

4. ONE-YEAR SUMMARY OF SYSTEM PROBLEMS

The occurrence of problems in 51 solar hot water systems monitored by Public Works Canada - National Capital Region in 1983 are outlined below:

	PROBLEM	REMEDY	NUMBER OF OCCURRENCES
a.	no/slow drainage	removed vacuum breaker, plugged hole	16
		cut pipe above drainback level	7
b.	contaminated glycol	changed glycol, pressured system	27
c.	leaking automatic air vent	replaced automatic vent with manual vent, installed isolating valve	17
		removed air vent, plugged hole	2
d.	low suction head (pumps overheating)	raised drainback tank	6
		lowered pump	3
e.	excessive cycling	storage sensor relocated from cold water pipe at tank entrance to lower part of tank	7

	PROBLEM	REMEDY	NUMBER OF OCCURRENCES
f.	reverse thermosiphoning	check valve installed	20
g.	pump seized	replaced pump	4
h.	faulty controller	replaced controller	16
i.	faulty collector sensor	replaced sensor	17
j.	system blowing pressure too frequently	adjusted relief valve to a higher pressure	12
k.	relief valve set too high	adjusted relief valve to a lower pressure	8
l.	expansion tank corroded	replaced by tank with EPDM liner	6
m.	expansion tank cracked	replaced tank	1
n.	loss of pressure	pressurized system	1
o.	damaged piping joint	repaired piping	1
p.	pump undersized	replaced pump	2
q.	pump oversized	replaced pump	1
r.	panel leakage	repaired or replaced panels	4
s.	storage tank leakage	replaced tank	2
t.	faulty run-time totalizer	replaced totalizer	4

5. CONCLUSION

Regular inspection and maintenance of solar systems can help prevent major repair and replacement expenses.

Simple systems are generally easiest to maintain and ease of maintenance should be considered during design and installation. Components such as heat exchangers and pumps should be fitted with isolation valves so they can be more easily serviced, while thermometers, flow meters and Peterson plugs should be included to facilitate testing of systems.

6. REFERENCES

1. F.S. Dubin, K. Raman, "Solar Systems Maintenance", ASHRAE Journal, December 1983, p. 33.

2. K. Raman, H.R. Sparkes, "Lessons Learned on Solar System Design Problems from the HUD Solar Residential Demonstration Program"; Preconference Proceedings -- Solar Heating and Cooling Systems Operational Results, Colorado Springs, p. 201.

3. K. Raman, H.R. Sparkes, "Lessons Learned on Solar System Installation, Operation and Maintenance Problems from the HUD Solar Residential Demonstration Program"; Preconference Proceedings -- Solar Heating and Cooling Systems Operational Results, Colorado Springs, p. 253.

4. Technical Note No. 6, "The Use of Expansion Tanks with Propylene Glycol", August 1982.

5. Technical Note No. 14, "Use and Maintenance of Propylene Glycol in Solar Heating Systems", May 1983.

6. U.S. Department of Housing and Urban Development Installation Guidelines for Solar Domestic Hot Water Systems - Contract H-2377.

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 998-9817

N° 21: mars 1984

Entretien des chauffe-eau solaires

1. SYNOPSIS

L'expérience a démontré que l'entretien régulier des systèmes solaires joue un rôle essentiel dans leur durabilité et leur bon fonctionnement. La vérification régulière des composants deux fois par an peut réduire sensiblement ou même éliminer les problèmes de fonctionnement qui, s'ils ne sont pas réglés sans délai, peuvent entraîner des réparations plus onéreuses.

2. INTRODUCTION

Les systèmes solaires, comme tout système mécanique, sont sujets au bris et à l'usure. Ils ont les mêmes exigences d'entretien que les moyens traditionnels de chauffage, de ventilation et de conditionnement d'air et peuvent en outre poser des problèmes particuliers, par exemple ils sont soumis à les conditions extrêmes et leurs composants sont relativement coûteux à réparer et à remplacer. Il y a aussi le problème de la détection des pannes. Comme l'alimentation en eau chaude est assurée par le système d'appoint, il n'est pas toujours facile de déceler un défaut de fonctionnement, à moins d'effectuer des inspections régulières.

Un grand nombre de propriétaires d'habitations ignorent que leurs systèmes solaires nécessitent un entretien régulier ou encore ne savent pas comment l'effectuer. Il en va de même pour les exploitants d'immeubles commerciaux qui sont mal renseignés sur la gestion des systèmes. Ainsi, alors que certains problèmes découlent d'un vice de conception ou d'une mauvaise installation, il semble de plus en plus évident que d'autres soient imputables à l'ignorance ou au manque d'information de l'usager.

On peut améliorer le rendement et la durée de vie d'un système si l'exploitant peut prévoir les problèmes et y remédier en temps opportun.

3. CONSIGNES D'ENTRETIEN DES CHAUFFE-EAU SOLAIRES

Les composants d'un système solaire doivent permettre l'accès en toute sécurité aux capteurs, pompes, réservoirs et système de régulation. Pour accélérer l'entretien et la détection des pannes, afficher près du chauffe-eau la liste des pressions normales, niveaux de remplissage, sens du courant et autres indications relatives aux soupapes de sûreté ou autres éléments importants.

Établir un fichier de tous les travaux d'entretien. En cas de fonctionnement défectueux, effectuer les réparations sans délai pour éviter d'endommager d'autres éléments. Une perte de pression du glycol peut entraîner la surchauffe des pompes; le fonctionnement défectueux du régulateur ou de la sonde thermique peut faire geler les capteurs en hiver ou les surchauffer en été; des capteurs surchauffés soumettent les sondes à des températures trop élevées.

L'usager d'un système résidentiel, commercial ou industriel doit connaître les opérations de mise en marche, d'entretien courant et d'arrêt, notamment en cas d'urgence. Pour faciliter les réparations et réduire le temps d'interruption des systèmes commerciaux, il faut garder un stock suffisant des pièces essentielles qu'il est difficile de se procurer (comme par exemple les pompes, régulateurs, sondes et antigel propylène-glycol).

Les problèmes les plus courants qui menacent les systèmes solaires mal entretenus sont les suivants:

- fuites dans l'assemblage des capteurs
- condensation à l'intérieur des capteurs
- perte de fluide caloporteur dans les systèmes en circuit fermé
- défectuosité des groupes de sécurité et de régulation
- gel des éléments du système
- fuites de toit à l'entrée des tuyaux

Pour remédier à ces problèmes, on recommande de procéder à une inspection visuelle des composants deux fois par année, une fois au début du printemps et une autre fois à la fin de l'automne.

3.1 Capteurs solaires

a. Couvertures

Nettoyer les vitrages extérieurs du capteur une fois par année ou lorsque c'est nécessaire. Il convient de le faire au moment où le capteur n'est pas trop chaud, soit tôt le matin ou par temps couvert. Se conformer aux instructions de nettoyage du fabricant en n'utilisant que les détergents approuvés.

Examiner les sondes du capteur pour s'assurer qu'il y a un bon contact thermique. Les étalonner annuellement en suivant les instructions du fabricant.

S'assurer que les vitrages sont étanches. Bien qu'une certaine condensation soit normale, par exemple la nuit lorsque la surface des capteurs refroidit, une trop grande condensation sous le vitrage du capteur est signe d'un manque d'étanchéité ou de l'obstruction des trous du capteur.

Vérifier au toucher la température du vitrage. Une surface brûlante peut être un indice de stagnation imputable soit à une fuite du fluide caloporteur (s'il s'agit de caloducs) ou d'une perte de pression trop importante dans les capteurs centraux d'un ensemble (dans des systèmes mal conçus). Les contraintes thermiques peuvent faire fissurer le vitrage des capteurs.

b. Absorbeurs

Le raccord d'un absorbeur en aluminium à une tuyauterie de métal de nature différente comme le cuivre peut entraîner la corrosion des métaux. Scruter l'absorbeur au travers du vitrage pour détecter toute fuite, décoloration, entartrage ou autres anomalies.

c. Tuyauterie du capteur

Surveiller les traces de corrosion sur tous les raccords de canalisation interne, les tuyaux d'entrée et de sortie ainsi que les attaches de la sonde thermique.

d. Isolation de la tuyauterie externe

S'assurer que l'isolant n'est pas détérioré par les rayons ultraviolets. Comprimer l'isolant pour détecter l'humidité. Un isolant humide peut suinter. Un isolant endommagé entraîne des pertes thermiques.

e. Installation

Lorsque les capteurs sont installés sur le toit, vérifier l'étanchéité des points de fixation. Si l'on peut accéder à l'arrière du capteur, s'assurer que l'isolant et le matériau de couverture placé derrière l'absorbeur ne sont ni surchauffés ni carbonisés.

3.2 Réservoirs de stockage

Vérifier l'étanchéité du réservoir à sa base et si l'isolant qui l'entoure n'est pas mouillé ou autrement détérioré. Surveiller la formation de corrosion sur les attaches de la sonde thermique et les raccords de la tuyauterie. S'il est possible d'ouvrir le réservoir, examiner le revêtement intérieur en quête de signes de corrosion ou d'entartrage et s'assurer de l'étanchéité du serpentin de l'échangeur thermique.

S'assurer que la sonde établit un bon contact thermique et est placée au bon endroit. Dans de nombreuses installations surveillées par Travaux publics Canada, région de la Capitale nationale, les sondes placées sur le tuyau d'eau froide à l'entrée du réservoir ont été déplacées sur le côté pour corriger une circulation trop grande.

Vider et nettoyer les réservoirs chaque année. Dans le cas de systèmes à vidange automatique, chronométrer l'opération une fois par an; elle doit se faire en moins de dix minutes.

3.3 Échangeurs thermiques

Pour faciliter l'entretien, on devrait installer un robinet d'isolement de chaque côté de l'échangeur. Noter la chute de pression entre l'entrée et la sortie de l'appareil, ouvrir la tête afin de déceler des fuites, de la corrosion ou de l'entartrage; nettoyer une fois l'an à l'aide d'un produit recommandé par le fabricant.

3.4 Pompes

S'assurer que la pompe est bien fixée, bien lubrifiée et qu'elle fonctionne sans vibrations ni bruits suspects. Certaines pompes de circulation sont scellées et lubrifiées en permanence; d'autres sont lubrifiées par le fluide caloporteur et d'autres, enfin, nécessitent une lubrification périodique. Se conformer aux recommandations du fabricant.

3.5 Robinets, mises à l'air libre, vases d'expansion

Vérifier les robinets, mises à l'air libre et vases d'expansion pour détecter les fuites ou les obstructions. S'assurer que les robinets d'arrêt fonctionnent librement dans les deux sens et vérifier tous les réglages.

Démonter annuellement les canalisations munies de filtres pour en nettoyer les grillages. Vérifier les flotteurs et les joints d'étanchéité; la saleté pour gêner le fonctionnement de l'évent. S'assurer que les chapeaux laissent passer l'air librement (serrer à la main puis dévisser d'un ou deux filets).

Régler la soupape de sûreté à une pression inférieure de 35 kPa (5 lb/po^2) à la pression maximale de l'élément de moindre résistance du système.

Vérifier l'étanchéité de la membrane du vase d'expansion en mesurant la pression d'air. Vérifier le niveau de l'eau et ajuster au besoin.

3.6 Tuyauterie

Vérifier l'étanchéité des raccords, la pente des tuyaux, les suspentes et l'état de l'isolant. Les systèmes utilisant le silicone ou un autre matériau semblable sont plus sujets aux fuites. Examiner soigneusement deux fois par année tous les raccords des tuyaux, pompes, échangeurs thermiques de même que tous les joints et rondelles d'étanchéité pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuite.

3.7 Fluide caloporteur

a. Niveau du fluide dans le circuit du capteur

Examiner le circuit du capteur par la fenêtre prévue à cet effet afin de déceler les fuites du fluide, la formation de tartre ou les bulles d'air.

Mesurer la pression du fluide. Une baisse marquée de la pression statique signifie sans doute une perte de fluide. Dans certains systèmes à vidange automatique, un manque de fluide peut endommager la pompe.

b. pH

Pour prévenir la corrosion dans les systèmes à base d'eau et de glycol, il importe de vérifier le pH du fluide caloporteur (se reporter à la fiche technique n° 6).

Dans les systèmes à circuit ouvert, le pH doit se maintenir entre 7 et 8. Pour un pH inférieur à 7, ajouter des anticorrosifs. Au-dessus de 8, il y aura risque d'entartrage. Vérifier également la concentration en fer, zinc, cuivre et autres métaux sujets à la corrosion.

Dans les systèmes en circuit fermé à base de glycol, titrer le liquide à la suite d'une phase de stagnation. Les mélanges à base de glycol ont tendance à devenir acide dans le cas de surchauffe ou de stagnation du système. Si le pH descend au-dessous de 7, inclure un additif pour ramener le pH à 7,5. Surveiller également l'apparition de quantités importantes de solides en suspension.

c. Débit

Il importe de régler le débit lors de l'installation du système et de le vérifier au moins une fois l'an en mesurant la température de chacun des montages par temps ensoleillé. Un débit anormal résulte généralement d'un engorgement des tuyaux et composants, du mauvais fonctionnement des pompes ou des clapets, ou encore de la présence de poches d'air.

d. Entartrage

Il est normal que l'on retrouve certains dépôts dans tout système à base de fluide mais pour assurer un rendement optimal, il importe de nettoyer régulièrement les principaux éléments du système. Des dépôts de rouille peuvent être imputables à la corrosion des éléments en fer; des dépôts calcaires peuvent signifier la nécessité de traiter l'eau d'alimentation du système.

4. RÉSUMÉ DES PROBLÈMES RENCONTRÉS AU COURS D'UNE ANNÉE

Nous résumons ci-dessous les problèmes qui se sont manifestés dans les 51 systèmes solaires de chauffage de l'eau contrôlés par Travaux publics Canada dans la région de la Capitale nationale en 1983.

	PROBLÈME	SOLUTION	NOMBRE DE CAS
a.	vidange/ nulle lente	retrait de l'interrupteur de vide, ouverture bouchée	16
		coupure du tuyau au-dessus du niveau de vidange automatique	7
b.	contamination du glycol	remplacement du glycol pressurisation du système	27
c.	fuite sur mise à l'air libre automatique	remplacement de la mise à l'air libre par un dispositif manuel	17
		dépose de la mise à l'air libre, ouverture bouchée	2
d.	pression d'aspiration faible (surchauffe des pompes)	relèvement du réservoir à vidange automatique	6
		abaissement de la pompe	3

	PROBLÈME	SOLUTION	NOMBRE DE CAS
e.	cycles de déclenchement trop rapprochés	sonde située à l'arrivée d'eau froide déplacée à un niveau inférieur du réservoir	7
f.	effet de thermosiphon inversé	installation d'une clapet de retenue	20
g.	pompe gripée	remplacement de la pompe	4
h.	contrôleur défectueux	remplacement du contrôleur	16
i.	sonde du capteur défectueuse	remplacement de la sonde	17
j.	relâchement trop fréquent de pression	réglage de la soupape de sûreté à une pression supérieure	12
k.	soupape de sûreté réglée trop haut	ajustement de la soupage de sûreté à une pression inférieure	8
l.	corrosion du vase d'expansion	remplacement par un vase à chemisage EPDM	6
m.	vase d'expansion fissuré	remplacement du vase d'expansion	1
n.	perte de pression	pressurisation du système	1
o.	raccords endommagés	remplacement de la tuyauterie	1
p.	pompe insuffisante	remplacement de la pompe	2
q.	pompe trop puissante	remplacement de la pompe	1

	PROBLÈME	SOLUTION	NOMBRE DE CAS
r.	fuites des capteurs	réparation ou remplacement des capteurs	4
s.	fuite du réservoir de stockage	remplacement du réservoir	2
t.	compteur de temps de marche (pompe) défectueux	remplacement	4

5. CONCLUSION

La vérification et l'entretien régulier des systèmes solaires peut aider à réduire les dépenses importantes de réparations et de remplacement des pièces.

Les systèmes simples sont habituellement les plus faciles à entretenir. Lors de la conception et de l'installation on devrait prévoir des accès pour l'entretien. Les échangeurs thermiques et les pompes devraient être munis de vannes d'isolement pour faciliter l'entretien et l'on devrait prévoir des thermomètres, débitmètres et des raccords de branchement (Peterson plugs) pour assurer la vérification des systèmes.

6. BIBLIOGRAPHIE

1. F.S. Dubin, K. Raman, "Solar Systems Maintenance", ASHRAE Journal, December 1983, p. 33.

2. K. Raman, H.R. Sparkes, "Lessons Learned on Solar System Design Problems from the HUD Solar Residential Demonstration Program"; Preconference Proceedings -- Solar Heating and Cooling Systems Operational Results, Colorado Springs, p. 201.

3. K. Raman, H.R. Sparkes, "Lessons Learned on Solar System Installation, Operation and Maintenance Problems from the HUD Solar Residential Demonstration Program"; Preconference Proceedings -- Solar Heating and Cooling Systems Operational Results, Colorado Springs, p. 253.

4. Technical Note No. 6, "The Use of Expansion Tanks with Propylene Glycol", August 1982.

5. Technical Note No. 14, "Use and Maintenance of Propylene Glycol in Solar Heating Systems", May 1983.

6. U.S. Department of Housing and Urban Development Installation Guidelines for Solar Domestic Hot Water Systems - Contract H-2377.